

以能力培养为导向的基于工厂化生产实践指导的“发酵工程” 教学研究与应用

何峰 项俊 方元平 徐春 向福*

(黄冈师范学院生命科学学院 湖北 黄冈 438000)

摘要:“发酵工程”是生物技术和生物工程等专业的核心基础课程,应用性非常强,其工艺流程包括上游的菌种和培养基,中游发酵动力学和过程控制,以及下游的发酵产物分离制备与精制等。在实际生产过程中,工艺流程的每个阶段都是理论知识在生产实践中的具体应用。授课过程中,如果教师只介绍教材的基础理论知识,而不结合具体生产实践,学生不仅难以掌握知识点,而且对利用发酵工程生产产品的工艺流程没有深刻的认识,更不知道如何去应用理论知识指导实际生产。由于发酵工程应用的重要性,发酵工程教学质量的好坏直接影响学生的专业素质与就业情况。因此,本课程组开展了基于生产实践指导的发酵工程教学方法的研究与应用,在发酵工程课程教学中,结合生产实践中的科研经验,总结教材的理论知识与生产实践的相结合点,使教材中较为抽象、复杂的理论知识具体化。这样不仅激发了学生的学习兴趣,加强了学生对理论知识的理解,更为重要的是,结合实际科研、生产过程中曾面临的问题,引导学生如何利用基础理论知识去解决这些问题,这种授人以渔的方法对于指导学生的科研和毕业后的生产实践具有重要的应用价值。

关键词: 生产实践, 发酵工程, 教学方法

Research and application of Fermentation Engineering teaching method on a factory production scale aimed at practice ability training

HE Feng XIANG Jun FANG Yuan-Ping XU Chun XIANG Fu*

(College of Life Sciences, Huanggang Normal University, Huanggang, Hubei 438000, China)

Abstract: Fermentation Engineering is one of the core course of Biotechnology and Bioengineering major, being characteristics of practice. The process of fermentation involves in the strain and culture medium, the bacterial seed preparation, fermentation kinetics, process control, production, separation and refining of fermentation products. During the actual production process, each step depends on the specific fermentation theory. If only the basic theory of textbooks is presented, without

Foundation item: Pilot Project of “Comprehensive Reform of Specialty” (Bioengineering) in Hubei University (201545)

***Corresponding author:** Tel: 86-713-8833606; E-mail: lc_xiangfu@163.com

Received: October 09, 2017; **Accepted:** December 28, 2017; **Published online** (www.cnki.net): January 15, 2018

基金项目: 湖北省本科高校“专业综合改革”试点项目(生物工程)(鄂教高函[201545]号)

***通信作者:** Tel: 86-713-8833606; E-mail: lc_xiangfu@163.com

收稿日期: 2017-10-09; 接受日期: 2017-12-28; 网络首发日期(www.cnki.net): 2018-01-15

combining with production practice in the course, the students not only have difficulty in study, but also have no deep understanding of the fermentation process of products. Moreover, they do not know how to combine the theoretical knowledge with the actual production. Thus, the teaching method of Fermentation Engineering course based on the guidance of practice can stimulate the learning interest of the students. Meantime, it can strengthen their understanding of theoretical knowledge. More importantly, the methods used to solve the problems in the actual production process, have important application value to the students in their scientific researches.

Keywords: Production practices, Fermentation Engineering, Teaching method

发酵工程在生物医药工业、食品工业、环境科学等领域应用非常广泛,是生物技术与生物工程等专业的核心基础课程,在生物工程专业教学体系中占有重要地位,其教学质量的好坏直接影响学生的专业素质与就业情况^[1]。宋存江等研究了“模块教学”的必要性和可行性,并在“微生物发酵工程”资源共享课程教学中进行了实践^[2]。任晓莉等在教学内容体系的安排上,提出了“一个中心,两个结合,三个层次”的概念;在教学策略上,探讨了“预测、提问、澄清和小结”四个策略的综合运用,旨在培养学生的创新思维能力和专业技能,提高教学质量^[3]。安登第等针对“发酵工程”课程特点和授课对象,从教学理念、模块划分和授课方式等方面进行了改革和实践,显著提高了学生的社会实践能力和创新能力^[4]。洪璇等针对生物制药技术专业就业岗位群特点,对“发酵工程”课程教学大纲、教学模式、教学方法等方面进行了改革,通过实践案例,阐述了创设学习情境、任务驱动式教学、生产性实训等教学模式的具体应用^[5]。这些教学方法的研究为发酵工程理论课教学提供了良好的思路和借鉴。

2012年国务院印发《生物产业发展“十二五”规划》,将生物产业确定为国家战略性新兴产业。2016年国家发展改革委员会印发的《“十三五”生物产业发展规划》中,进一步明确指出:“生物产业是21世纪创新最为活跃、影响最为深远的新兴产业,是我国战略性新兴产业的主攻方向”。这充分说明生物产业在国民经济中的重要地位。如何为现代生物产业发展培养急需的应用型人才是具有生物工程专业的高校面临的重要问题^[6]。黄冈

师范学院生物工程专业是湖北省本科高校“专业综合改革”试点专业、黄冈师范学院品牌专业,为了适应新时期生物产业对人才的需要,我们在教学模式和教学方法等方面进行了改革尝试,建立了以能力培养为导向,为现代生物产业培养理论知识丰富、动手能力强、具有一定解决实际问题能力的应用型专业人才培养模式。“发酵工程”是生物工程专业的主要内容之一,在生物技术产业化过程中起着关键作用,是培养学生将理论知识应用于实践能力的重要课程。在课程教学过程中,建立基于工厂化生产实践指导的教学体系和方法,切实提高学生对理论知识的理解能力、动手能力和解决实际问题的能力,以适应新时期生物产业对人才的需要尤为重要。

1 教学模式与教学方法改革

黄冈师范学院作为地方综合性院校,与国内“双一流”院校和拥有“国家教学团队”的院校相比,在学生素质、教学条件、经费支持和师资力量等方面存在一定差距。在以前的理论教学过程中,采用传统的“授人以鱼”式的教学方法,仅仅注重理论知识的传授,将课本视为知识的“殿堂”,学生往往通过死记硬背记住教材现成结论、机械地接受实验技能的培训,学生的学习热情不高,上课时“低头族”、“手机族”较多,导致教学效果不理想,更谈不上培养学生解决实际问题的科研创新能力。在实验教学中,采用单个、零散的实验,强调实验步骤。在实践环节,只是短期的见习、观摩,没有深入到车间。学生难以理解书本上的理论知识,无法深刻认识发酵工程生产产品的工艺

流程,更不知如何应用理论知识指导实际生产。针对上述情况,我们把发酵工程课程改革成模块式教学,整个课程体系分为四个模块:理论教学、实验教学、科研训练和生产实习,形成理论教学、实验教学、科研训练与生产实习一体化的教学模式,如表1所示。根据每个模块的特点,建立基于工厂化生产实践指导的教学体系和方法,切实提高学生对理论知识的理解能力,提高将理论知识应用于指导具体发酵产品的生产能力、解决实际问题的科研能力,培养理论知识扎实、动手能力强以及具有一定创新能力的新型人才,满足新时代生物产业对人才的需求。

1.1 将生产实践的案例引入理论教学中,使理论知识具体化,促进学生对理论知识的理解

何峰作者曾在生物制药的上市公司从事利用发酵法生产药物的科研工作多年,熟悉企业生产技术及工艺流程,熟悉产业技术需求和专业技术人才需求,先后经历多个产品的工艺改造、新技术引进与研究开发等工作,实践经验非常丰富,现在从事发酵工程教学工作。何峰作者发现,发

酵工程的理论知识点在生产实践中均有相应的实例。因此,通过梳理教材的理论知识点,结合生产实践中的科研案例和生产经历,可使教材中较为抽象、复杂的理论知识具体化,学生会真切地体会到案例中知识点的重要性,更容易牢记知识点,并对利用发酵工程生产产品的流程产生深刻的认识,强化了学生对理论知识的理解。

如发酵工程上游技术中的重要环节是菌种的制备,包括菌种的分离筛选、工业菌种鉴定、菌种选育、制备和保藏等理论知识点,学生往往无法理解各知识点的重要性。在利用发酵工程生产相关产品的企业,菌种是公司最宝贵的财富,菌种站的工作是最重要的工作岗位之一。每个产品的菌种管理会配备“选种组”、“制种组”和“保种组”3组技术人员,其工作分别是:分离筛选、鉴定以及选育优良菌种;制备大规模发酵种子;保藏优良菌种。在课堂教学中,通过介绍3组技术人员在实际生产中的成功经验或者失败的案例,将教材上抽象的理论知识点具体化,让学生真切理解这些书本上的理论知识在生产实践中的应用。

表1 “发酵工程”课程教学模块

Table 1 The module of the Fermentation Engineering course

教学模块 Teaching modules	教学方法 Teaching methods	教学内容 Teaching contents	学时 Teaching time (h)	教学目的 Teaching objectives
模块1:理论教学 Module1: Theory teaching	基于工厂化生产实践的案例式教学	菌种和培养基 发酵动力学 发酵种子制备 发酵过程控制 发酵产物分离制备与精制	40 h, 必修	将抽象的理论知识点具体化,强化学生对理论知识的理解
模块2:实验教学 Module 2: Experimental teaching	模拟工厂化生产产品的工艺路线,设计发酵工程综合性实验	实验1:利用枯草芽孢杆菌发酵生产淀粉酶 实验2:利用链霉菌发酵生产链霉素	30 h, 必修	熟悉发酵企业生产产品的工艺流程,实现理论知识与工业化生产实践的紧密结合
模块3:科研训练 Module 3: Scientific research training	学生自主选择科研项目的小课题,教师指导完成	项目1:利用发酵法生产鸟苷的氮源研究 项目2:利用罗田甜柿发酵生产高品质果醋 项目3:发酵法生产精油工艺研究	第4学期,选修	培养学生的科研素质,提高学生综合利用理论知识解决实际问题的能力
模块4:生产实习 Module 4: Production practice	与发酵工程企业开展深度合作	在3个不同的工作岗位上轮岗进行生产实习	3个月,必修	培养企业所需要的应用型人才,实现无缝对接

在发酵过程控制环节, 葡萄糖的控制尤其重要。在工业生产中, 糖是发酵过程中使用量最大的重要碳源。为了确保生产过程中糖的稳定性, 从而确保发酵的稳定, 很多发酵企业必须建立自己的制糖厂。通过介绍在发酵过程的不同环节如何采用最合适的方式精准控制糖浓度的具体案例, 让学生体会在工业上精准控制葡萄糖的重要性。

固液分离是发酵产物分离常用的技术, 一般采用板框过滤、离心机分离和纱布过滤等方法。在工业生产中, 发酵液动辄上百吨, 如果分离方法选择不当, 可能导致发酵水平很高的发酵液中产品收率低, 最终造成重大经济损失。因此, 在理论课程教学时, 给学生们展示不同发酵液的具体案例, 如糖残量高、发酵液粘度过大、发酵液染菌等, 让学生们根据发酵液的具体情况选择合适的分离技术, 学生对此印象非常深刻。

这种生产实践指导的案例式理论课授课模式在学生中深受欢迎, 不仅将抽象的理论知识具体化, 而且这些案例能高度吸引学生注意力, 激发学生的学习兴趣, “低头族”、“手机族”大大减少。更重要的是, 这些案例让学生提前接触到毕业后可能会碰到的问题, 培养他们以产业化的思维去学习, 而不是一味“读死书”, 这对于指导学生的科研和毕业后的生产实践具有重要的应用价值。

1.2 基于工厂化的操作流程和产业化的思路, 设计综合性发酵工程实验, 培养学生利用基础理论解决实际问题的能力

实验实践教学是学生能力培养, 尤其是动手能力和创新创业能力培养的关键环节, 是保障人才培养质量的关键因素之一。在学生掌握了理论知识的基础上, 可以通过发酵工程综合实验对相关技术及工程知识进行进一步强化。

传统的实验教学为零散的单个实验设计方

案, 学生往往过于关注具体的操作步骤, 而难以系统地理解整个工艺流程。鉴于此, 我们打破传统的实验教学设计理念, 以项目导向的思路对知识点进行重新梳理整合, 改革传统发酵工程实验教学模式, 按照工厂化的操作流程和产业化的思路, 以产品生产流程为主线模拟工厂实际生产工艺环节, 一环套一环, 设计发酵工程综合性大实验, 这是我校发酵工程教学的重大举措。

课程组设计了两大综合实验: 一是酶制剂的发酵生产, 以利用枯草芽孢杆菌发酵生产淀粉酶为例; 二是原料药的发酵生产, 以利用链霉菌发酵生产链霉素为例。两大综合实验都紧密围绕发酵工艺流程的主线, 严格按照实践中利用发酵工程生产产品的工艺环节进行, 实验项目包括发酵设备检查与空培养、发酵种子制备、培养基优化、发酵过程相关参数控制、发酵产物的分离纯化与制备、发酵产物活性测定等。首要环节是发酵设备检查, 学生必须全面检查发酵过程中的水、电、空气和蒸汽, 特别是发酵罐和管道的密闭性, 确保密闭性良好。随后, 在发酵种子的活化、摇瓶种子制备以及培养基优化环节, 让学生切实体会到发酵工艺流程的每一步都至关重要。在发酵培养过程中, 通过监控溶氧、温度和 pH 等相关参数, 学生可更加深刻理解各参数对发酵过程的影响。发酵过程结束后, 通过对发酵产物的分离纯化与制备, 以及发酵产物的活性测定, 不仅让学生掌握发酵产品的制备工艺, 而且学生还可明确评价发酵过程生产的产品是否达到预期目标。

通过整个工艺流程的具体实践, 让学生不仅巩固了理论知识, 而且熟悉了发酵企业生产产品的工艺流程, 熟悉了每个生产环节的作用, 使学生始终在具体的工作过程中学习, 真正实现了理论知识与工业化生产实践的紧密结合, 大大提高了学生综合分析问题和运用理论知识解决实际问题的能力。

1.3 紧密结合工业化实践，以科研项目为载体，培养学生的科研素质

为了进一步培养学生解决实际问题的能力，我们从校企合作项目和其他科研项目中提炼、整理出一批科研小课题提供给学生，让学有余力的学生自主选择，并指导学生完成。我们要求学生通过查阅文献探讨这些小课题中存在的科学问题并设计研究方案，引导学生解决科学问题。

如从科研项目“发酵法生产鸟苷的工艺研究”中提炼出部分内容，设计成小课题“发酵法生产鸟苷的氮源研究”，组建研究小组，指导学生以基因工程菌枯草芽孢杆菌为研究对象，以鸟苷产量为标准，从不同氮源中筛选出最适合于枯草芽孢杆菌生长和鸟苷发酵生产的氮源。在此基础上，进一步研究枯草芽孢杆菌发酵过程中动力学参数和鸟苷晶体合成的规律，为大规模发酵过程奠定基础，确保发酵过程中鸟苷生产的稳定性。此外，还从科研项目“发酵法生产精油工艺研究”中提炼出小课题。通过这些课题的研究训练，不仅使学生巩固了菌种选育、培养基优化、发酵过程控制、发酵产物的分离纯化等方面的理论知识，而且使学生对科研产生极大兴趣，培养其科研素质，这就是我们通常提倡的“以培养研究生的方法培养本科生”。

1.4 与发酵工程相关企业开展深度合作，培养企业所需要的应用型人才

进入发酵工程相关企业进行生产实习和实践，可进一步增强学生对生物产业的整体认识，提高学生的研究能力和实践能力，最终提高学生综合利用理论知识解决实际问题的能力，增强学生的未来适应性，更好地适应工厂化要求，真正做到学以致用。首先，邀请发酵工程知名企业工作人员与学校一起商讨人才培养方案，了解企业对人才的需求，从根本上与企业深度交流融合，真正培养企业所需要的应用型人才；其次，开展双师型教学模式，聘请企业研发人员到校给学生上课、开展讲座，让企业导师现身说法为学生介

绍发酵工程领域的产品研发知识和技能，增强学生对发酵工程的整体认识，提高学生专业意识，让学生在未来的技术和产品研发工作中具有全局观念和视野。第三，在企业建立产学研合作的实践实习基地，与企业联合制定实践训练内容，安排学生到企业实习实践，并改变过去学生到企业短期实习的方式，让学生在工厂至少进行 3 个月以上的生产实习，并在 3 个不同的工作岗位上上岗。通过企业工作人员的言传身教和学生亲自参与实际生产过程进行实践，以及在各个岗位的锻炼，让学生对理论知识有了更深入的认识，解决实际问题的能力得到大幅提高，真正做到学以致用，并为将来的职业发展奠定基础。

目前黄冈师范学院生命学院与湖北多家从事发酵生产的知名企业，如湖北广济药业股份有限公司、武汉新华杨生物股份有限公司和湖北回盛生物科技有限公司等进行了深度融合，就学生培养方案制定、企业导师走进课堂、建立创新实习基地等方面充分合作，真正培养了企业所急需的应用型人才，学生毕业后深受企业欢迎。

2 发酵工程教学效果评价

2.1 通过“发酵工程”课程建设带动“生物工程”课程群建设，促进生物工程专业建设

在“发酵工程”课程建设的带动下，与发酵工程相关的课程群如“基因工程”、“生物工程设备”、“发酵过程检测与控制”、“生物分离工程”的教学工作都是按照“以能力培养为导向的基于工厂化生产实践指导”的原则进行，在教学过程中教师的教学能力大幅提升。近两年来，课程组教师先后荣获学校青年教师教学竞赛二等奖 2 名、教学杰出奖 1 名、教学新星奖 2 名。更重要的是，以“发酵工程”为核心的生物工程专业课程体系建设，带动和促进了整个生物工程专业建设，现在黄冈师范学院生物工程专业是湖北省战略新兴“支柱”产业人才培养计划专业、湖北省普通高等学校“专业综合试点改革”专业。

2.2 通过教学与科研项目以及生产实践相结合, 学生的综合素质大幅提高

结合“发酵工程”课程特点, 组建发酵工程实践团队, 让学生参与校企合作项目课题, 申报各级各类的大学生创新实验项目, 鼓励参加大学生生物实验技能竞赛和“大学生挑战杯”等课外科技活动, 并指导学生撰写论文和专利, 真正实现了产学研的深度融合。近两年, 学生参与校企合作项目达到 16 人次, 先后获批国家级、省级大学生创新项目 8 项, 获湖北省“大学生挑战杯”银奖 2 项、三等奖 4 项, 获湖北省大学生生物实验技能竞赛单项二等奖 3 项、综合赛三等奖 5 项; 发表学术论文 8 篇, 申报国家发明专利达 11 项。学生的专业兴趣、自主学习能力和实践创新能力得到明显提高, 学生的综合素质大幅提升。

2.3 学校教学视导组对“发酵工程”课程的教学方式给予了高度评价

以能力培养为导向的基于生产实践指导的发酵工程教学方式, 不仅深受学生们欢迎, 学校教学视导组专家对这种教学方式也给予了高度评价: 基于实践指导的理论教学不仅激发了学生的学习兴趣, 加强了学生对理论知识的理解, 更重要的是结合实际科研、生产过程中曾面临的问题, 引导学生如何利用基础理论知识去解决实际问题, 这对于指导学生的科研和毕业后的生产实践具有重要的应用价值。

3 小结

以能力培养为导向的基于工厂化生产实践指导的发酵工程教学, 将教师的生产实践经验、科研项目融入到教学中, 真正实现了教学与科研项目、教学与工厂化生产实践相结合, 取得了研究与育人双赢的优良效果。一方面, 将工厂化生产实践的案例与教材的理论知识相结合, 可使理论知识具体化, 激发了学生的学习兴趣, 丰富了课堂教学内容, 大幅提高了教学效果; 另一方面, 以

科研项目为载体, 将生产实践中的科研经验引入教学中, 结合实际生产中曾面临的问题, 引导学生利用基础理论知识解决实际问题, 提高了学生的实践创新能力, 最终提升学生的核心竞争力, 显著增强了学生对未来的适应性。

因此, 以能力为导向的基于工厂化生产实践指导的发酵工程教学模式, 可为其他高校或其他专业应用性较强的课程教学模式改革提供借鉴和参考。

REFERENCES

- [1] Zhang QH, Zhu XD, Zhang B. Teaching reform and exploration of fermentation engineering course in agriculture and forestry universities[J]. Light Industry Science and Technology, 2014(1): 162-163,165 (in Chinese)
张庆华, 朱向东, 张宝. 农林院校发酵工程课程教学改革与探索[J]. 轻工科技, 2014(1): 162-163,165
- [2] Song CJ, Wang SF, Yang C, et al. Exploration and practice of “module teaching method” in microbiology fermentation engineering course[J]. Biology Teaching in University (Electronic Edition), 2014, 4(2): 6-9 (in Chinese)
宋存江, 王淑芳, 杨超, 等. “模块教学”在“微生物发酵工程”资源共享课教学中的探索与实践[J]. 高校生物学教学研究: 电子版, 2014, 4(2): 6-9
- [3] Ren XL, Zhao RZ, Liang BH. Curriculum teaching reform and its practice of Fermentation Engineering course[J]. Microbiology China, 2011, 38(1): 127-130 (in Chinese)
任晓莉, 赵润柱, 梁保红. 发酵工程课程的教学改革与实践[J]. 微生物学通报, 2011, 38(1): 127-130
- [4] An DD, Zeng XC, Zhang R, et al. Exploration and practication of a stereoscopic system on Fermentation Engineering course[J]. Microbiology China, 2014, 41(7): 1443-1447 (in Chinese)
安登第, 曾献春, 张瑞, 等. 发酵工程课程的立体化教学探索与实践[J]. 微生物学通报, 2014, 41(7): 1443-1447
- [5] Hong X, Chen ZW, Li HB, et al. Reform and new practices of Fermentation Engineering curriculum in the major of bio-pharmacy[J]. Microbiology China, 2016, 43(4): 786-792 (in Chinese)
洪璇, 陈仲巍, 李鹤宾, 等. 生物制药技术专业“发酵工程”教学改革探索与实践[J]. 微生物学通报, 2016, 43(4): 786-792
- [6] Liu X, Chen CW. Exploration and practice of talent training system in local applied undergraduate colleges—Taking bioengineering major of West Anhui University as an example[J]. China University Teaching, 2014(12): 40-42 (in Chinese)
刘鑫, 陈存武. 地方应用型本科高校人才培养体系的探索与实践——以皖西学院生物工程专业为例[J]. 中国大学教学, 2014(12): 40-42